



PENGARUH SUBSTITUSI *BY-PRODUCT* INDUSTRI TAPIOKA PADA FESES SAPI PERAH SEBAGAI SUBSTRAT BIOGAS TERHADAP NILAI pH, PRODUKSI METAN DAN KECERNAAN BAHAN ORGANIK

The Effect of Co-Substrat Tapioca Industry By-Product and Dairy Cow Feces on pH Value, Methane Production and Volatile Solid Reduction

M. Istiadi, Sutaryo Sutaryo*, Agung Purnomoadi

Faculty of Animal and Agricultural Science, University of Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, 50275

*E-mail: soeta@lecturer.undip.ac.id

Submitted : November 1, 2019 Accepted : July 15, 2020

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi co-digesti onggok dengan feses sapi perah sebagai substrat pada digester biogas terhadap nilai pH, produksi metan dan kecernaan bahan organik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak adanya perbedaan yang nyata ($p > 0,05$) antara perlakuan penggunaan onggok dan feses sapi perah sebagai substrat biogas (T1) dengan feses sapi perah tanpa substitusi dengan onggok (T0) terhadap nilai pH, produksi metan dan kecernaan bahan organik. Nilai pH pada perlakuan T1 sebesar 6,68 dan T0 sebesar 6,86. Produksi metan pada T1 sebesar 204,84 ml/g *volatile solid* (VS) dan pada T0 sebesar 184,88 ml/g VS. Kecernaan bahan organik pada T1 (29,44%) dan T0 (23,06%). Kesimpulan dari penelitian ini adalah substitusi onggok sebesar 5% pada feses sapi perah sebagai substrat biogas dengan bahan baku feses sapi perah tidak memberikan perbedaan terhadap nilai pH, hasil produksi metan dan kecernaan bahan organik.

Kata kunci : Biogas, Kecernaan bahan organik, Nilai pH, Onggok, Produksi metan.

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the effect co-substrat tapioca industry by-product and dairy cow feces on pH value, methane production and volatile solid reduction. The results showed that substitution of 5% dairy cow feces with tapioca by product gave no significant effect ($p > 0.05$) on the pH value, methane production and volatile solid (VS) reduction. pH value was 6.68 and 6.86 for treatment T0 and T1 respectively. Methane production was 204.84 ml/g VS/d and 184.88 ml/g VS/d for T1 and T0 respectively. Volatile solid reduction was 29.44% and 23.06% for treatment T1 and T0 respectively. The conclusion of this study is substitution of 5% dairy cow feces with tapioca by-product does not give effect on the pH value, methane production and volatile solid reduction.

Keywords: Biogas, Methane production, pH Value, Tapioca solid waste, Volatile solid reduction.

PENDAHULUAN

Dampak yang ditimbulkan limbah peternakan antara lain mencemari air tanah, polusi udara, mengganggu kenyamanan ternak dan dampak pada jangka panjangnya adalah bahaya pemanasan global. Salah satu penyumbang limbah peternakan dengan jumlah terbanyak adalah feses, oleh karena itu perlu adanya pengolahan feses yang tepat guna.

Salah satu teknologi yang tepat guna dalam pengolahan feses adalah dengan penanganan secara anaerob untuk produksi biogas. Biogas dapat digunakan pada peternakan berlahan sempit untuk mengurangi polusi udara dan hasil akhir yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Biogas merupakan kumpulan gas-gas yang dihasilkan oleh aktivitas mikroorganisme dalam keadaan anaerob yang menfermentasikan bahan-bahan yang bersifat *biodegradable*. Pembentukan

biogas melewati tahapan hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan methanogenesis. Komposisi gas pada biogas adalah gas metan (55-75%), karbondioksida (25-45%), hidrogen (1-5%), hidrogen sulfida (0-3%), nitrogen (0-0,3%) dan oksigen (0,1-0,5%) (Hambali *et al.*, 2007). Gas metan inilah yang menjadi sumber energi yang dapat dimanfaatkan menjadi energi panas atau kalor, semakin tinggi kandungan gas metan maka semakin besar kandungan energi pada biogas.

Bahan yang digunakan dalam pembuatan biogas dalam penelitian ini adalah feses sapi perah, tetapi untuk menghasilkan biogas yang optimal memerlukan beberapa syarat, yaitu bahan isian mempunyai kandungan C/N rasio sekitar 25-30, bahan organik 7-9%, pH 6,5-7,6 (Rittman dan McCarty, 2001) dan temperatur 28-30°C (Lazuardi, 2008). Masalah pembuatan biogas dengan bahan isian feses sapi perah adalah kandungan C/N rasio hanya sebatas 18 (Harahap, 2007), sehingga tidak dapat menghasilkan biogas secara optimal, maka perlu adanya penambahan bahan lain agar meningkatkan kandungan C/N rasio dan kandungan bahan organik. Penambahan onggok diharapkan meningkatkan kandungan C/N rasio dan bahan organik, karena onggok termasuk limbah pertanian yang mengandung banyak karbon (C) jika dibandingkan limbah peternakan. Kandungan nutrisi yang terdapat di dalam onggok, yaitu gula pereduksi 31,30%, pati 37,70%, serat 21,00%, protein 0,96% dan kadar air 9,04% (Soemarno, 2007). Pencampuran feses sapi perah dengan onggok bertujuan untuk meningkatkan nilai rasio C/N bahan isian pada biogas sehingga produksi gas metan yang dihasilkan akan lebih optimal.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penggunaan limbah padat tapioka sebagai substrat biogas dengan bahan baku feses sapi perah terhadap nilai pH, produksi metan dan pencernaan bahan organik. Manfaat penelitian ini diharapkan mendapatkan informasi ilmiah upaya meningkatkan produksi gas metan berbasis sapi perah.

MATERI DAN METODE

Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah feses sapi perah, onggok, air sebagai bahan pengencer feses, larutan NaOH 4% (w/w). Alat yang digunakan adalah 2 buah rangkaian digester kontinyu yang terbuat dari dua lapis *stainless steel* dengan volume 7 liter, alat pengukur metan yang terdiri dari gelas ukur (Pyrex®) dengan volume 1000 ml, pompa air (Shimidzu®), kran dan selang Teflon PTFE Ø 5 mm. Peralatan lain yang digunakan, yaitu

timbangan digital *Electronic Price Computing Scale* kapasitas 30 kg dengan ketelitian 1 g, timbangan analitik, corong, sendok, keran plastik, gelas Beaker, *freezer*, *refrigerator*, oven dan tanur.

Metode

Persiapan penelitian

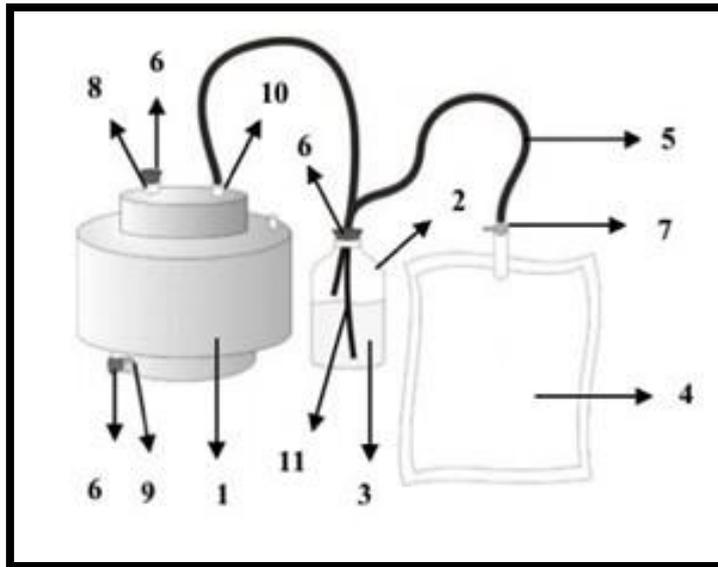
Tahapan penelitian ini meliputi persiapan penelitian, masa adaptasi dan penelitian utama. Persiapan penelitian diawali dengan pembuatan cairan starter yang dilakukan dengan mencampurkan feses sapi perah dengan air, perbandingan kedua bahan adalah 1:1 (berat/volume). Cairan starter kemudian dimasukan ke dalam drum dan diaduk sampai rata (homogen). Cairan starter harus memenuhi sekitar setengah dari volume drum, kemudian ditutup rapat agar kondisi anaerob di dalam drum. Proses pemeraman dilakukan sampai dengan kurun waktu 2 minggu.

Persiapan selanjutnya adalah perangkaian digester tipe *continous feeding* (Gambar 1). Rangkaian peralatan digester adalah tabung pencerna berkapasitas 7000 ml yang terbuat dari *stainless steel*, 4 buah penutup karet, 2 buah selang teflon, botol kaca sebagai tempat larutan NaOH 4% untuk menyerap gas CO₂ pada biogas, keran plastik dan *Tedlar gas bag* sebagai tempat menampung gas metan. Perangkaian digester dilakukan dengan cara menutup lubang aliran *slurry* dan lubang bagian atas tabung pencerna dengan menggunakan penutup karet. Memasang selang teflon pertama pada lubang aliran gas yang terdapat di tabung pencerna, kemudian ujung selang teflon lainnya dimasukkan dalam penutup karet yang sudah di beri dua lubang sebelumnya. Penutup karet yang berlubang digunakan untuk menutup botol kaca yang berisi larutan NaOH 4% (w/w). Selang teflon yang dimasukan botol kaca sedalam tiga seperempat botol kaca. Ujung selang teflon kedua dimasukan dalam botol kaca sedalam 2-3 cm di atas larutan NaOH 4%. Ujung selang teflon yang lain dirangkai dengan *tedlar gas bag* yang sebelumnya *tedlar gas bag* sudah dipasangkan keran plastik.

Persiapan selanjutnya adalah perangkaian alat pengukur produksi metan (Gambar 2). Alat untuk mengukur produksi gas terdiri dari pompa air, gelas ukur kapasitas 1000 ml, 2 buah selang teflon, keran plastik, kayu penyangga dan bak air. Bak yang telah berisi air diletakkan pada tempat yang datar kemudian diatas bak ditaruh kayu penyangga. Kayu penyangga ini berfungsi untuk meletakkan gelas ukur dalam keadaan terbalik, diusahakan agar bibir gelas ukur tenggelam dalam bak air. Pompa air terdiri dari dua lubang, yaitu

lubang penyedot dan lubang pengeluaran. Pada lubang penyedot dipasangkan selang yang semakin mengecil dan pada tengah-tengah diberikan keran plastik, ukuran selang yang semakin mengecil bertujuan agar selang teflon pertama dapat masuk. Ujung selang teflon pertama dan kedua ditali sehingga menempel satu sama yang lain dengan tinggi ujung yang rata.

Kedua ujung selang yang ditali kemudian dimasukan ke dalam gelas ukur sampai menyentuh dasar. Ujung selang kedua yang lain berfungsi untuk mengukur gas metan (Gambar 2). Lubang pengeluaran pompa air diberi selang yang diarahkan ke dalam bak air, supaya air yang keluar dari pompa air tidak tercecer dimana-mana.



Gambar 1. Digester tipe *continous feeding* (*Continous feeding digester*).

Keterangan (*Description*) : 1. *Digester*, 2. *Botol kaca volume 500 mL (Glass bottle volume 500 cc)*, 3. *Larutan NaOH 4% (NaOH 4% solution) (w/w)*, 4. *Tedlar gas bag*, 5. *Selang Teflon (Teflon hose)*, 6. *Sumbat karet (Rubber plug)*, 7. *Kran (Faucet)*, 8. *Lubang pemasukan substrat (Substrate insertion hole)*, 9. *Lubang pengeluaran slurry (Slurry discharge hole)*, 10. *Lubang pengeluaran gas (Gas Outlet)*, 11. *Selang Teflon dari digester tercelup ke dalam larutan NaOH (Teflon hose from difester dipped into the NaOH solution)*.



Gambar 2. Peralatan untuk mengukur volume gas (*Apparatus for measuring biogas volume*)

Masa adaptasi

Masa adaptasi dilakukan sebelum pelaksanaan penelitian utama dimulai. Masa adaptasi dimulai dengan mengisi kedua digester dengan cairan starter yang telah dipersiapkan masing-masing sebanyak 5600 ml. Pengisian cairan starter tidak sampai penuh dikarenakan agar memberi sedikit ruang udara di dalam digester, kemudian menutup kembali lubang pengisian digester dengan penyumbat karet. Hal ini bertujuan agar digester tetap dalam keadaan anaerob. Kedua digester setiap hari dilakukan pengeluaran *slurry* sebanyak 224 g dan pengisian substrat sebanyak 224 g pada jam yang telah ditentukan. Masa adaptasi dilakukan 1 kali *Hydraulic Retention Time* (HRT) atau selama 25 hari, pengukuran produksi gas metan dilakukan pada 3 hari terakhir pada periode adaptasi, apabila produksi gas metan telah stabil maka penelitian utama dapat dilaksanakan.

Penelitian utama

Penelitian utama dilakukan dengan mengisi dua buah digester dengan substrat berbeda. Digester pertama diisi menggunakan substrat campuran feses sapi perah dan air dengan perbandingan 1:1 (T0). Digester kedua diisi menggunakan substrat (95% feses sapi perah + 5% onggok) + air dengan perbandingan 1:1 (T1). Pembuatan substrat dilakukan untuk kurun waktu satu minggu sekaligus, penyimpanan substrat ditaruh di dalam lemari pendingin. Pengisian substrat dan pengeluaran *slurry* dilaksanakan secara kontinyu setiap hari. Substrat yang diisikan sebanyak 224 g dan *slurry* yang dibuang sejumlah sama dengan yang dimasukkan.

Langkah selanjutnya melakukan pengamatan terhadap produksi gas metan. Pengambilan data produksi gas metan dilakukan setiap hari pada pukul 15.00 WIB selama 3 kali HRT dengan 1 kali HRT yaitu selama 25 hari. Selama dilakukan pengamatan produksi gas metan, dilakukan pula pengambilan sampel *slurry*

untuk pengujian kecernaan bahan organik. Komposisi dari masing-masing substrat disajikan pada Tabel 1.

Pengujian Variabel

Variabel yang diamati pada penelitian ini meliputi pengukuran pH (Hanna® pH meter), produksi gas metan (*Liquid Displacement Method*; Gambar 2) dan pengujian kecernaan bahan organik. Disamping variabel utama terdapat data pendukung yang juga diamati, yaitu kandungan bahan organik, rasio C/N substrat. Kandungan bahan kering sampel dianalisis dengan memanaskan sampel pada suhu 105°C selama 7 jam. Kandungan abu sampel dianalisis dengan pemanasan bahan kering sampel pada suhu 550°C selama 7 jam (APHA, 1995). Bahan organik (BO) merupakan selisih antara bahan kering dengan kandungan abu.

Rumus kecernaan bahan organik :

$$\frac{\text{BO substrat} - \text{BO slurry}}{\text{BO substrat}} \times 100\%$$

Analisis data

Data yang terkumpul selama penelitian meliputi produksi metan, dan kecernaan bahan organik substrat dianalisis menggunakan metode uji t pada 2 sampel independen. Pengujian dilakukan dengan membandingkan data hasil pengukuran antara T0 dengan T1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

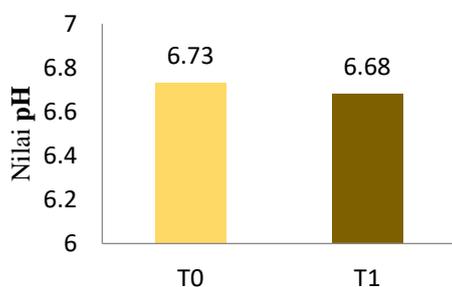
Pengaruh Substitusi Feces Sapi Perah dengan Onggok terhadap pH *Slurry*

Hasil pengamatan nilai pH yang dilakukan setiap satu minggu selama 3 kali HRT (75 hari) terhadap sampel *slurry* campuran feses sapi perah dan air dengan perbandingan 1:1 (T0) dan sampel substrat (95% feses sapi perah + 5% onggok) + air dengan perbandingan 1:1 (T1) disajikan pada Gambar 3.

Tabel 1. Komposisi substrat bahan isian biogas (*Biogas stuffing substrate composition*)

Unsur (Elements)	Substrat (Substrates)	
	T0	T1
Bahan Organik (<i>Organic Matter</i>) (%)	7,62	7,97
Total Nitrogen (<i>Nitrogen Total</i>) (%)	3,10	4,05
Rasio C/N (<i>C/N ratio</i>)	16,76	18,85
pH	6,55	6,54

Pada Gambar 3 menunjukkan rata-rata pH *slurry* pada T0 sebesar 6,68 dan T1 sebesar 6,86 dan selisih antara kedua pH adalah sebesar 0,18. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata ($P>0,05$) antara T1 dengan T0. Nilai pH *slurry* antara T0 dengan T1 masih dalam batasan normal yang dianjurkan oleh Rittman dan McCarty (2001) yang menyatakan kebutuhan pH optimum pada proses anaerobik memerlukan pH berkisar antara 6,5-7,6. Kondisi pH digester yang mendekati netral (pH 7) akan memacu perkembangan bakteri metanogen khususnya bagi bakteri perombak asam asetat akan tumbuh dan berkembang secara optimal, sehingga akan berdampak pada produksi biogas yang dihasilkan (Yonathan *et al.*, 2013).

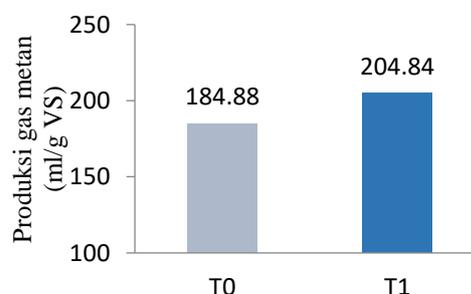


Gambar 3. Rata-rata nilai pH *slurry* (Average *slurry pH value*).

Pembentukan biogas melalui beberapa tahapan seperti hidrolisis, pengasaman dan pembentukan metan. Setiap tahapan memerlukan kondisi pH yang berbeda-beda yang disebabkan oleh bakteri mempunyai karakteristik hidup yang berbeda khususnya yang berhubungan dengan pH. Tahapan hidrolisis memerlukan pH optimum antara 5,5-6,5 (Arshad *et al.*, 2011), tahap pengasaman memerlukan pH 4,5-7 dan tahap pembentukan gas metan bakteri akan berkerja dikisaran 6,2-7,8 (Fairus *et al.*, 2011). Nilai rata-rata pH *slurry* dari kedua digester menunjukan sudah sesuai dengan dengan syarat kondisi pH bakteri setiap tahapan. Kondisi pH *slurry* tidak menjadi faktor penentu produksi gas metan, selama masih pada batasan-batasan yang ditentukan maka kinerja digester dapat berfungsi secara optimal. Produksi gas metan T1 akan lebih baik seperti halnya kandungan bahan organik yang terdapat pada T1 yang lebih tinggi dibandingkan dengan T0. Hal ini dimungkinkan karena pH T1 masih dalam batasan normal, sehingga tidak mengganggu kinerja mikroba dalam digester.

Pengaruh Substitusi Feces Sapi Perah dengan Onggok terhadap Produksi Gas Metan

Produksi gas metan yang diukur dari perlakuan substrat feces sapi perah yang dicampurkan dengan air (T0) dan sampel substrat (95% feces sapi perah + 5% onggok) + air dengan perbandingan 1:1 (T1) disajikan dalam Gambar 4, diketahui bahwa produksi rata-rata gas metan selama 11 minggu pada T0 sebesar 184,88 ml/g VS/hari dan T1 sebesar 204,84 ml/g VS/hari. Selisih diantara kedua rata-rata produksi gas metan tersebut adalah 19,96 ml/g VS/hari dan setelah diuji menggunakan analisis statistik menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata ($p>0,05$) berarti substitusi dengan limbah padat tepung tapioka sebesar 5% dari feces sapi perah tidak berbeda nyata terhadap produksi gas metan yang dihasilkan oleh kontrol.



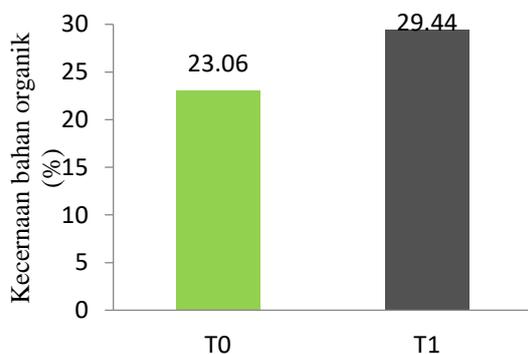
Gambar 4. Rata-rata produksi metan (Average *methane production*)

Perlakuan tidak terlalu berpengaruh disebabkan oleh selisih kandungan C/N rasio antara T1 dan T0 hanya sebesar 2,09. Nilai C/N rasio dapat dilihat pada Tabel 1. Ditambah dengan kandungan C/N rasio pada T0 dibawah standar yaitu 16,76 dibandingkan dengan penelitian Tamara (2008) yang menyebutkan feces sapi perah mengandung rasio C/N sebesar 18. Akibatnya produksi gas metan yang dihasilkan kurang optimal. Kondisi C/N rasio yang baik untuk pembuatan biogas menurut Triatmojo (2004) adalah sebesar 25-30. Tinggi rendahnya rasio C/N dipengaruhi oleh pakan yang dikonsumsi ternak dan lingkungan hidup yang berbeda.

Pengaruh Substitusi Feces Sapi Perah dengan Onggok terhadap terhadap Kecernaan Bahan Organik

Kecernaan bahan organik berhubungan dengan produksi metan yang akan dihasilkan dan menunjukkan kemampuan bakteri anaerob dalam merombak bahan organik. Rata-rata kecernaan bahan organik disajikan dalam Gambar 5 bahwa

kemampuan digester mencerna bahan organik pada perlakuan T1 lebih baik dibandingkan dengan perlakuan T0 dengan rata-rata nilai 29,44% dan 23,06%. Menurut analisis statistiknya menunjukkan perlakuan yang diterapkan tidak ada perbedaan nyata ($P > 0,05$) terhadap nilai kecernaan bahan organik.



Gambar 5. Rata-rata kecernaan bahan organik (Average digestibility of organic matter)

Perlakuan yang diterapkan tidak berpengaruh nyata disebabkan oleh selisih kandungan bahan organik perlakuan T1 dengan kontrol T0 tidak berbeda jauh yaitu 7,97 dengan 7,62. Bahan organik merupakan sumber makanan bagi bakteri anaerob, semakin banyak kandungan bahan organik yang mudah larut dalam air akan memudahkan proses konversi bahan organik menjadi biogas (Darwin *et al.*, 2016). Kecernaan bahan organik memberikan pengaruh terhadap produksi gas metan yang dihasilkan. Semakin tinggi kecernaan bahan organik memberikan arti bahwa bahan organik dalam isian biogas melimpah sehingga akan menghasilkan produksi gas metan yang semakin banyak. Batasan bahan organik yang kurang dari 7% tidak dapat menghasilkan produksi gas yang optimal, sebaliknya diatas 9% maka bakteri akan kelebihan bahan makanan sehingga *slurry* yang dihasilkan masih terdapat banyak bahan organik dan kelebihan bahan organik akan membuat pengendapan didalam digester. Disamping itu, ukuran partikel limbah padat tapioka yang halus, membantu dalam pencernaan pada pencernaan yang terjadi pada T1. Menurut Herawati dan Wibawa (2010) menyatakan bahwa semakin kecil ukuran substrat akan mempermudah mikroba untuk mengurai bahan makanan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah padat tepung tapioka sebesar 5% untuk substitusi feses

sapi perah tidak memberikan perbedaan terhadap nilai pH, produksi gas metan dan kecernaan bahan organik yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Public Health Association (APHA). 1999. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th Edition. American Public Health Association, Washington DC.
- Arshad A, Hashmi HN, Qureashi IA (2011). Anaerobic Digestion of CHL Orphenolic Wastes. *Int. J. Environ. Res.*, 5(1): 149-158.
- Darwin, Yusmanizar, M. Ilham, A. Fazil, S. Purwanto, Sarbaini dan F. Dhiauddin. 2016. Aplikasi *thermal pre-treatment* limbah tanaman jagung (*Zea mays*) sebagai co-substrat pada proses anaerobik digesti untuk produksi biogas. *J. Agritech.*, 36(1): 79-88.
- Fairus, S., Salafudin, L. Rahman, dan E. Apriani. 2011. Pemanfaatan Sampah Organik Secara Padu Menjadi Alternatif Energi : Biogas dan *Precursor Briket*. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. Yogyakarta 22 Februari 2011. ISSN 1692-4393. E01: 1- 10
- Hambali, E., S. Mudjadalipah., H. A. Tambunan, W. A. Pattiwiri, dan R. Hemdroko. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Harahap, I. V. 2007. Uji Beda Komposisi Campuran Kotoran Sapi dengan Beberapa Jenis Limbah Pertanian Terhadap Biogas yang Dihasilkan. Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Herawati, D. A., dan A. A. Wibawa. 2010. Pengaruh *pretreatment* jerami padi pada produksi biogas dari jerami padi da sampah sayur sawi hijau secara *batch*. *J. Rekayasa Proses.*, 4(1): 25-29.
- Lazuardi, I. 2008. Rancang Bangun Alat Penghasil Biogas Model Terapung. Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Rittman, B. E. dan P. L. McCarty. 2001. *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. The McGraw-Hill Companies. New York.
- Riyanti, F., P. Lukotowati, dan Afrilianza. 2010. Proses klorinasi untuk menurunkan kandungan sianida dan nilai KOK pada limbah cair tepung tapioka. *J. Penelitian Sains*, 13(3): 34-39.

- Soemarno. 2007. Rancangan Teknologi Proses Pengolahan Tapioka dan Produk-produknya. Universitas Brawijaya. Malang.
- Tamara, D. 2008. Kuantitas dan komposisi kimia manure sapi perah pada kelompok peternak Kemirikebo, Girikerto, Turi, Sleman. Skripsi. Fakultas Peternakan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Triatmojo, S. 2004. Penanganan Limbah Peternakan. Jurusan Teknologi Hasil Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wibowo, T. S., A. Dharma, dan Refilda. 2013. Fermentasi anaerob dari campuran kotoran ayam dan kotoran sapi dalam proses pembuatan biogas. *J. Kimia Unnad.*, 2 (1): 113-118.
- Yonathan, A., A. R. Prasetya, dan B. Pramudono. 2012. Produksi biogas dari enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) : kajian konsistensi dan pH terhadap biogas yang dihasilkan. *J. Teknologi Kimia dan Industri*, 1(1):412-416.